

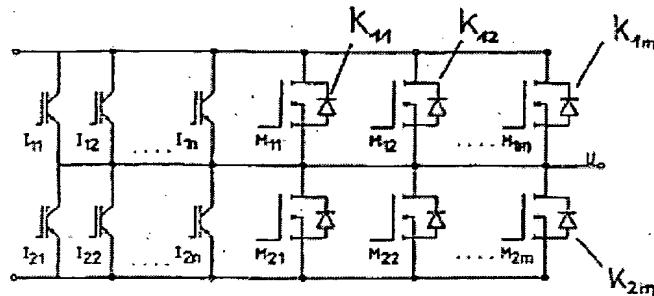
## Three-phase converter simultaneously switches on the MOSFET and IGBT of a power switch and switches off the MOSFET with a delay relative to the IGBT

**Patent number:** DE10010957  
**Publication date:** 2001-09-13  
**Inventor:** PFORR JOHANNES (DE); MEYER GUENTER (DE)  
**Applicant:** STILL GMBH (DE)  
**Classification:**  
 - **international:** B60L11/18; H02M7/5387; H03K17/0814; H03K17/567;  
 B60L11/18; H02M7/5387; H03K17/08; H03K17/56;  
 (IPC1-7): H02M7/48; B60L11/18; H02M7/515;  
 H02M7/5387; H03K17/567  
 - **europen:** B60L11/18C; H02M7/5387; H03K17/0814E; H03K17/567  
**Application number:** DE20001010957 20000306  
**Priority number(s):** DE20001010957 20000306

**Report a data error here**

### Abstract of DE10010957

The device has at least one electrical half-bridge with two power switches in series whose electrical junction represents an inverter output. Each switch contains a parallel circuit of at least one MOSFET and IGBT and has a parallel free-wheel path with a diode and the MOSFET body diodes. The power switches have a drive that simultaneously switches on the power switch's MOSFET and IGBT and switches off the MOSFET with a delay relative to the IGBT. The device has at least one electrical half-bridge with two power switches in series whose electrical junction represents an output of the inverter, each of which contains a parallel circuit of at least one MOSFET (M11-M2m) and at least one IGBT (I11-I2n) and has a parallel free-wheel path with a diode. The MOSFET's body diodes (K11-K2m) are in the free-wheel path. The power switches have a drive that simultaneously switches on the MOSFET and IGBT for a power switch and switches off the MOSFET with a delay relative to the IGBT. Independent claims are also included for the following: a method of converting an electrically direct system into an alternating system and a battery-powered warehouse vehicle with a three-phase motor and an inverter.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 10 957 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 02 M 7/48**  
H 02 M 7/5387  
H 02 M 7/515  
B 60 L 11/18  
H 03 K 17/567

⑯ Aktenzeichen: 100 10 957.8  
⑯ Anmeldetag: 6. 3. 2000  
⑯ Offenlegungstag: 13. 9. 2001

DE 100 10 957 A 1

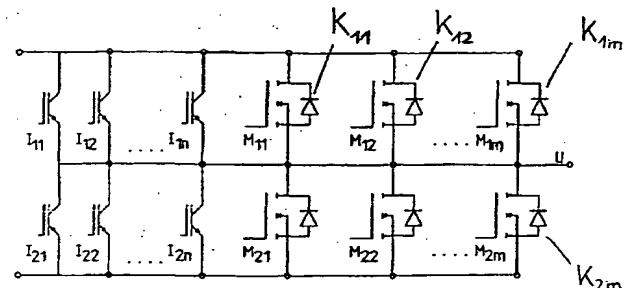
⑯ Anmelder:  
Still GmbH, 22113 Hamburg, DE

⑯ Erfinder:  
Pforr, Johannes, Dipl.-Ing., 53229 Bonn, DE; Meyer, Günter, Dipl.-Ing., 21033 Hamburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Leistungsschalter für Drei-Phasen-Umrichter

⑯ Die Erfindung betrifft einen Wechselrichter mit mindestens einer elektrischen Halbbrücke, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, deren elektrische Verbindung eines Ausgang des Wechselrichters darstellt. Die Leistungsschalter besitzen jeweils eine Parallelschaltung mindestens eines MOSFET ( $M_{1x}$ ) und mindestens eines IGBT ( $I_{1x}$ ), wobei zu jedem Leistungsschalter ein mit einer Diode ( $K_{1x}$ ) versehener Freilaufzweig parallel geschaltet ist und sich die Körperioden ( $K_{1x}$ ) der MOSFETS ( $M_{1x}$ ) in dem Freilaufzweig befinden. Die Leistungsschalter werden so angesteuert, daß die IGBT ( $I_{1x}$ ) und MOSFET ( $M_{1x}$ ) eines Leistungsschalters gleichzeitig eingeschaltet, die MOSFET ( $M_{1x}$ ) jedoch zeitverzögert zu den IGBT ( $I_{1x}$ ) ausgeschaltet werden (Figur 3).



DE 100 10 957 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Wechselrichter mit mindestens einer elektrischen Halbbrücke, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, deren elektrische Verbindung einen Ausgang des Wechselrichters darstellt, wobei die Leistungsschalter jeweils eine Parallelschaltung mindestens eines MOSFET und mindestens eines IGBT aufweisen und zu jedem Leistungsschalter ein mit einer Diode versc̄nner Freilaufzweig parallel geschaltet ist. Ferner bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Umrichten eines elektrischen Gleichstromsystems in ein Wechselstromsystem mittels eines Wechselrichters, der mindestens eine elektrische Halbbrücke aufweist, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, wobei an deren elektrischer Verbindung eine Ausgangsspannung des Wechselrichters abgegriffen wird, wobei mindestens ein MOSFET, mindestens ein IGBT und ein Freilaufzweig parallel zueinander geschaltet werden, um einen der Leistungsschalter zu bilden.

Elektronische Leistungsschalter zählen zu den wesentlichen Bestandteilen von elektronischen Leistungsstellern, die zur Speisung von elektrischen Antriebsmaschinen eingesetzt werden. Bei niedrigen Versorgungsspannungen und damit verbundenen hohen Motorströmen werden bisher hauptsächlich MOSFETs ("Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor") verwendet. Durch die Parallelschaltung vieler einzelner MOSFET-Chips lassen sich große Motorströme steuern. Den Vorteilen der MOSFETs, nämlich geringe Steuerleistung und hohe Schaltfrequenzen, steht allerdings als Nachteil ein relativ hoher Durchlaßwiderstand im eingeschalteten Zustand gegenüber.

Im Hochspannungsbereich haben sich IGBTs ("Insulated-Gate Bipolar Transistor") bewährt. IGBTs verbinden die Vorteile herkömmlicher bipolarer Transistoren, nämlich geringe Durchlaßverluste, mit den niedrigen Steuerleistungen von Feldeffekttransistoren. Bei gleicher Spannungsfestigkeit und Stromtragfähigkeit können IGBTs außerdem mit wesentlich weniger Silizium als MOSFETs realisiert werden und sind damit kostengünstiger.

Bei niedrigen Versorgungsspannungen benötigt man, beispielsweise in einem mit IGBTs aufgebauten Leistungssteller, IGBT-Chips mit sehr geringer Durchlaßspannung, um die Durchlaßverluste ähnlich niedrig zu halten wie in einem aus MOSFETs aufgebauten Leistungssteller. Derartige IGBTs haben aber den Nachteil, daß sie eine relativ große Abschaltverzögerung besitzen und daher große Schaltverluste verursachen. In Nicht-Hochspannungsanwendungen sah man deshalb bei hohen Schaltfrequenzen oberhalb 5 kHz bisher vom Einsatz von IGBTs ab.

Gegenüber MOSFETs haben IGBTs den weiteren Nachteil, daß sie beim Einsatz als elektronische Schalter in Leistungsstellern entgegen ihrer Durchschaltrichtung mit einer parallelen Diode beschaltet werden müssen, um auftretende Freilaufströme führen zu können. Bei MOSFETs ist die Schaltung mit einer zusätzlichen Freilaufdiode nicht notwendig, da MOSFETs ohnehin strukturbedingt eine zwischen Drain und Source liegende Diode, die sogenannte Körperdiode, aufweisen, die dem stromführenden Kanal des FET parallel geschaltet ist.

Die JP-A-10-80152 befaßt sich mit einem dreiphasigen Umrichter, in dem Leistungsschalter mit einer parallelen Anordnung von IGBTs und MOSFETs vorgesehen sind. Der Siliziumbedarf für diesen Leistungsschalter kann auf diese Weise gegenüber einer Realisierung mit ausschließlich MOSFETs reduziert werden. Die IGBTs sind mit einem separaten Freilaufzweig versehen, um die Freilaufströme durch die Körperdioden der MOSFETs gering zu halten. Die MOSFETs dienen dazu, bei kleinen Strömen die Spannung

möglichst niedrig zu halten. Der oben beschriebene Nachteil großer Schaltverluste bei hohen Frequenzen bleibt bei dieser Schaltung jedoch bestehen.

IGBTs haben sich bisher, wie bereits erwähnt, vor allem bei Hochspannungsanwendungen durchgesetzt. So ist beispielsweise aus der EP-A-0 502 715 eine Gleichspannungsversorgung für hohe Spannungen von  $\pm 380$  V bekannt, bei der ebenfalls eine Parallelschaltung aus MOSFET und IGBT als Leistungsschalter eingesetzt wird. Die IGBTs und MOSFETs eines Leistungsschalters werden dabei gleichzeitig eingeschaltet, die MOSFETs jedoch zeitverzögert zu den IGBTs ausgeschaltet. Dadurch fließt nach dem Abschalten der IGBTs weiterhin Strom über die parallel geschalteten MOSFETs, wodurch der Spannungsabfall über den IGBTs 15 und damit die Verlustleistung der IGBTs minimiert werden.

Bei dieser Hochspannungsapplikation erscheint es wesentlich zu sein, Freilaufströme durch die Körperdiode des MOSFETs völlig zu vermeiden. Daher ist eine Schottky-Diode in Reihe mit dem Leistungsschalter geschaltet, die in Sperrrichtung einen Stromfluß durch die Körperdiode des MOSFETs verhindert. Eine zusätzlich parallel zu der Serienschaltung aus Leistungsschalter und Schottky-Diode geschaltete Freilaufdiode führt auftretende Freilaufströme.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist es, einen Wechselrichter der eingangs genannten Art so weiter zu entwickeln, daß bei relativ niedrigen Versorgungsspannungen und hohen Schaltfrequenzen eine große Stromtragfähigkeit erreicht wird.

Diese Aufgabe wird durch einen Wechselrichter der eingangs genannten Art gelöst, bei dem sich die Körperdioden der MOSFETs in dem Freilaufzweig befinden und bei dem eine Ansteuerung für die Leistungsschalter vorgesehen ist, welche den/die IGBT und MOSFET eines Leistungsschalters gleichzeitig einschaltet und den/die MOSFET zeitverzögert zu dem/den IGBT ausschaltet.

Die Erfindung ist ferner auf ein Verfahren zum Umrichten eines elektrischen Gleichstromsystems in ein Wechselstromsystem mittels eines Wechselrichters gerichtet, der mindestens eine elektrische Halbbrücke aufweist, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, wobei an deren elektrischer Verbindung eine Ausgangsspannung des Wechselrichters abgegriffen wird, wobei mindestens ein MOSFET, mindestens ein IGBT und ein Freilaufzweig parallel zueinander geschaltet werden, um einen der Leistungsschalter zu bilden.

Erfindungsgemäß werden hierbei die Körperdioden der MOSFETs in den Freilaufzweig geschaltet und die IGBT und MOSFET eines Leistungsschalters gleichzeitig eingeschaltet und der/die MOSFET eines Leistungsschalters zeitverzögert zu dem/den IGBT des Leistungsschalters ausgeschaltet.

Wie eingangs erwähnt, ist es bei der Verwendung von IGBTs erforderlich, diese entgegen ihrer Durchschaltrichtung mit einer Freilaufdiode zu beschalten. Im Rahmen von umfangreichen, der Erfindung vorausgehenden Untersuchungen hat sich überraschenderweise gezeigt, daß sich die bei einem aus IGBTs aufgebauten Wechselrichter benötigten Freilaufdioden durch die Körperdioden von parallel geschalteten MOSFETs ersetzen lassen.

Bei den aus der EP-A-0 502 715 für eine Gleichstrom- und der JP-A-10-80152 für eine Wechselstromanwendung bekannten Umrichtern wird der Freilaufzweig durch eine eigene zusätzliche Diode realisiert. Bisher war man der Auffassung, daß eine zu enge Kopplung von IGBTs und MOSFETs aufgrund ihrer unterschiedlichen charakteristischen Verhaltensweisen zu Problemen führt. Die unterschiedlichen Strom-Spannungs-Kennlinien der beiden Halbleiterbauelemente in Verbindung mit den deutlich voneinander

abweichenden Schaltzeiten (Totzeiten, Ansprechzeiten, Abschaltverzögerungen) können bei einer unsachgemäßen Zusammenschaltung zur Zerstörung eines der Bauelemente führen. Bisher wurden deshalb die IGBTs und MOSFETs einzeln an die zu schaltenden Ströme und Spannungen angepaßt und optimiert. Insbesondere wurden die IGBTs mit einem separaten Freilaufzweig versehen, um die Freilaufströme von den MOSFETs fern zu halten.

Erfindungsgemäß hat sich dagegen gezeigt, daß die Freilaufströme, beispielsweise nach dem Ausschalten des IGBT, von der Körperdiode des parallel geschalteten MOSFET übernommen werden können, obwohl sich die beiden Baulemente hinsichtlich ihrer maximal zulässigen Spannungs- und Strombelastungen deutlich unterscheiden. Diese enge Kopplung von IGBT und MOSFET erlaubt es, auf eine separate Freilaufdiode zu verzichten. Für den Aufbau eines derartigen Leistungsschalters wird daher eine geringere Montagefläche benötigt, so daß die Siliziumkosten reduziert werden können.

Erfindungsgemäß ist ferner eine Ansteuerung für die Leistungsschalter vorgesehen, die es erlaubt, die IGBTs und MOSFETs eines Leistungsschalters gleichzeitig einzuschalten, jedoch die MOSFETs zeitverzögert zu den IGBTs auszuschalten. Mit einer derartigen Ansteuerung kann der Wirkungsgrad des Wechselrichters bei hohen Frequenzen, insbesondere ab 5 kHz, deutlich gesteigert werden.

Nach dem Ausschalten eines IGBTs fließt durch diesen aufgrund seiner relativ trügen Schaltcharakteristik eine Zeitlang der Strom weiter, während zugleich der Spannungsabfall über dem IGBT ansteigt. Da sich die elektrische Verlustleistung direkt aus dem Produkt von Strom und Spannung ergibt, sind bei einem IGBT während der Abschaltphase, in der der Strom abklingt, die Verluste relativ hoch.

Bei der erfindungsgemäßen Ansteuerung der IGBTs und MOSFETs fließt nach dem Abschalten der IGBTs weiterhin Strom über die parallel geschalteten MOSFETs, wodurch der Spannungsabfall über den IGBTs und damit die Verlustleistung der IGBTs minimiert werden. Die Zeitverzögerung in der Ansteuerung der MOSFETs wird bevorzugt so eingestellt, daß diese dann ausgeschaltet werden, wenn der Strom im IGBT auf etwa 2 bis 10%, bevorzugt etwa 5% seines Maximalwertes abgefallen ist.

Die zeitverzögerte Abschaltung der MOSFETs in Kombination mit der Verwendung der Körperdioden der MOSFETs im Freilaufzweig erlaubt die Herstellung schnell schaltender Wechselrichter für hohe Ströme bei deutlich reduzierten Herstellungskosten gegenüber den bisher bekannten Wechselrichtern für derartige Anwendungen. Insbesondere wenn die Leistungsschalter auf DCB-Substraten realisiert werden, werden die Kosten stark gesenkt, da die ansonsten notwendige kostenintensive Montage von separaten Freilaufdioden entfallen kann.

Besonders bewährt hat sich die Erfindung in einem Drei-Phasen-Wechselrichter, der aus drei Halbbrücken mit je zwei Leistungsschaltern besteht. Jeder Leistungsschalter wird vorzugsweise durch die Parallelschaltung von einem oder mehreren IGBTs und MOSFETs realisiert, wobei die Körperdioden der MOSFETs als Freilaufdioden der IGBTs verwendet werden.

Das für die Realisierung eines elektronischen Leistungssellers eingesetzte Silizium bestimmt den Großteil der Kosten eines Umrichters. Dreiphasige Umrichter, beispielsweise für den Antrieb von Drehstrommotoren, benötigen wesentlich mehr Silizium als Umrichter für Gleichstrommotoren. Mit anderen Worten: Umrichter für Drehstrommotoren sind wesentlich teurer als Umrichter für Gleichstrommotoren. Durch die erfindungsgemäße Verwendung der Körperdiode der MOSFETs als Freilaufdiode für die IGBTs und

den daraus resultierenden Verzicht auf eine zusätzliche Diode, kann der Siliziumanteil deutlich gesenkt werden. Die Kosten eines Drei-Phasen-Wechselrichters lassen sich wesentlich reduzieren.

5 Der Spannungsabfall in Durchlaßrichtung ist bei IGBTs im wesentlichen unabhängig von der Strombelastung, so daß IGBTs bei kleinen Strömen relativ hohe Durchlaßverluste aufweisen. Bei hohen Strömen sind dagegen die Durchlaßspannungen von IGBTs niedriger als die von MOSFETs.

10 Von Vorteil werden die Durchlaßspannungen und Stromtragfähigkeiten der IGBTs und MOSFETs deshalb so ausgewählt, daß bei kleinen Strömen der Strom im wesentlichen durch die MOSFETs geführt wird, während bei hohen Strömen die IGBTs den größten Teil des Stromes übernehmen.

15 Unter kleinen Strömen werden in diesem Zusammenhang Ströme kleiner als 100 A, unter großen Strömen solche mit Stromstärken von mehr als 300 A verstanden. Die Durchlaßverluste des Leistungsschalters werden so deutlich reduziert.

20 Die Erfindung eignet sich insbesondere für Anwendungen, bei denen die Leistungsschalter mit einer Frequenz zwischen 5 und 20 kHz, bevorzugt zwischen 8 und 16 kHz, geschaltet werden.

Die im Zusammenhang mit der Erfindung durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß die im Hochspannungsbereich bereits eingesetzten IGBTs auch bei kleinen Spannungen vorteilhaft genutzt werden können. Besonders beim Schalten von kleinen Spannungen von weniger als 150 V, insbesondere weniger als 100 V hat sich die erfindungsgemäße Schaltung bewährt. Ganz besonders günstig ist der Einsatz der Erfindung bei Anwendungen, bei denen hohe Ströme von mehr als 250 A, insbesondere mehr als 300 A, geführt werden müssen, die Versorgungsspannung dagegen relativ niedrig, d. h. kleiner als 150 V oder sogar kleiner als 100 V, ist. Die Erfindung findet somit bevorzugt als Wechselrichter in batteriebetriebenen Fahrzeugen, insbesondere Flurförderzeugen, mit Drehstromantrieb Verwendung.

Die Erfindung sowie weitere Einzelheiten der Erfindung werden im folgenden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines Drei-Phasen-Wechselrichters,

Fig. 2 die herkömmliche Realisierung der darin eingesetzten Leistungsschalter mittels IGBTs,

Fig. 3 eine Halbbrücke des erfindungsgemäßen Wechselrichters und

Fig. 4 den Verlauf der Gatespannungen der IGBTs und der MOSFETs einer Halbbrücke.

50 In Fig. 1 ist der konventionelle Aufbau eines Drei-Phasen-Wechselrichters gezeigt, wie er in einem batteriebetriebenen Gabelstapler mit Drehstromantrieb eingesetzt wird. Die Anschlußpunkte B des Wechselrichters werden mit der Stromversorgung des Fahrzeugs verbunden. Die Fahrzeughilfsladung liefert je nach Ausführung eine Versorgungsspannung von 48 V oder 80 V. Die zu schaltenden Ströme liegen im Bereich zwischen 300 und 400 Ampere. Der dreiphasige Wechselrichter enthält sechs Leistungsschalter S1 bis S6, wobei jeweils die oberen Leistungsschalter S1, S3 und S5

60 mit den jeweiligen unteren Leistungsschaltern S2, S4 und S6 eine elektrische Halbbrücke bilden. An den elektrischen Verbindungen zwischen den zwei Leistungsschaltern S1, S2 bzw. S3, S4 und S5, S6 einer Halbbrücke werden die verschiedenen Phasen u, v, w abgegriffen und dem Drehstrommotor M zugeführt.

Bei einem herkömmlichen Wechselrichter wird jeder der Schalter S1 bis S6 durch eine Schaltung, wie sie in Fig. 2 gezeigt ist, realisiert. Die Leistungsschalter S1 bis S6 bestehen

jeweils aus mehreren parallel geschalteten IGBTs  $I_1$  bis  $I_n$ , um die nötige Stromtragfähigkeit zu erreichen. Parallel zu den IGBTs  $I_1$  bis  $I_n$  sind Freilaufdioden  $D_1$  bis  $D_m$  geschaltet, die die bei Wechselrichtern auftretenden Freilaufströme übernehmen.

Erfundungsgemäß wird auf die separaten Freilaufdioden  $D_1$  bis  $D_m$  verzichtet und diese werden durch die parallel zu den IGBTs geschalteten Körperdioden von MOSFETs 10 ersetzt. Die Anzahl der IGBTs und der MOSFETs kann, aber muß nicht übereinstimmen. In Fig. 3 ist eine Halbbrücke eines erfundungsgemäßen Wechselrichters dargestellt.

Der Schalter S1 aus Fig. 1 wird durch die Parallelschaltung der IGBTs  $I_{11}$  bis  $I_{1n}$  und der MOSFETs  $M_{11}$  bis  $M_{1m}$ , der Leistungsschalter S2 entsprechend durch die IGBTs  $I_{21}$  bis  $I_{2n}$  und der MOSFETs  $M_{21}$  bis  $M_{2m}$  verwirklicht. Die in den MOSFETs  $M_{11}$  bis  $M_{1m}$  bzw.  $M_{21}$  bis  $M_{2m}$  strukturbedingt immer vorhandenen Körperdioden sind mit  $K_{11}$  bis  $K_{1m}$  bzw.  $K_{21}$  bis  $K_{2m}$  bezeichnet. Der Abgriff der Phase u 15 erfolgt an der Verbindungsstelle der Schalter S1 und S2.

Die IGBTs  $I_{11}$  bis  $I_{1n}$  bzw.  $I_{21}$  bis  $I_{2n}$  und die MOSFETs  $M_{11}$  bis  $M_{1m}$  bzw.  $M_{21}$  bis  $M_{2m}$  werden entsprechend Fig. 4 20 angesteuert. Die Schaltfrequenz beträgt 10 kHz. Fig. 4 zeigt die Gatespannungen, die an die IGBTs und MOSFETs der beiden Schalter S1 und S2 angelegt werden. Die Abkürzung  $V_{GS}(I_{1x})$  steht dabei für die Gatespannung an einem der IGBTs  $I_{11}$  bis  $I_{1n}$  des oberen Leistungsschalters S1. Die Bezeichnungen  $V_{GS}(I_{2x})$ ,  $V_{GS}(M_{1x})$  und  $V_{GS}(M_{2x})$  sind entsprechend zu verstehen.

Erfundungsgemäß werden die IGBTs  $I_{1x}$  und die MOSFETs  $M_{1x}$  gleichzeitig eingeschaltet, d. h. an alle Bauelemente des Schalters S1 wird gleichzeitig eine entsprechende Gatespannung  $V_{GS}(I_{1x})$  bzw.  $V_{GS}(M_{1x})$  angelegt. Aufgrund der kurzen Einschaltzeiten von IGBTs und MOSFETs erreicht der Stromfluß schnell seinen Maximalwert, wobei die Schaltung vorzugsweise so ausgelegt ist, d. h. die Anzahl 30 der IGBT-Chips und MOSFET-Chips so ausgewählt wird, daß etwa 20 bis 35% des Gesamtstromes von den MOSFETs  $M_{1x}$  und der Rest von den IGBTs  $I_{1x}$  übernommen wird.

Am Ende eines Schaltaktes wird zunächst die Gatespannung  $V_{GS}(I_{1x})$  der IGBTs  $I_{1x}$  abgeschaltet, während die 40 MOSFETs  $M_{1x}$  weiter im leitenden Zustand verbleiben. Der Stromfluß durch die IGBTs  $I_{1x}$  nimmt aufgrund der Abschaltcharakteristik der IGBTs nur allmählich ab. Der Strom durch die MOSFETs  $M_{1x}$  steigt im Gegenzug entsprechend an. Da sich die MOSFETs  $M_{1x}$  im leitenden Zustand befinden, ist der Spannungsabfall über den den MOSFETs  $M_{1x}$  parallel geschalteten IGBTs  $I_{1x}$  relativ niedrig, so daß die Durchlaßverluste in den IGBTs  $I_{1x}$  vernachlässigbar klein sind. Nachdem der Strom in den IGBTs  $I_{1x}$  auf etwa 5% abgefallen ist, wird auch die Gatespannung der MOSFETs  $M_{1x}$  50 auf Null reduziert. Aufgrund der geringen Abschaltverzögerung der MOSFETs  $M_{1x}$  bricht der Stromfluß durch den Leistungsschalter S1 dann schnell zusammen.

Kurz nach dem Abschalten der MOSFETs  $M_{1x}$  werden die IGBTs  $I_{2x}$  und MOSFETs  $M_{2x}$  des unteren Leistungsschalters S2 eingeschaltet, um am Ausgang u die negative Halbwelle zu erzeugen.

Die bei den Schaltvorgängen auftretenden Freilaufströme werden von den Körperdioden der MOSFETs  $M_{1x}$  und  $M_{2x}$  übernommen. Zusätzliche Freilaufdioden sind nicht notwendig.

#### Patentansprüche

1. Wechselrichter mit mindestens einer elektrischen 65 Halbbrücke, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, deren elektrische Verbindung einen Ausgang des Wechselrichters darstellt, wobei die Lei-

stungsschalter jeweils eine Parallelschaltung mindestens eines MOSFET und mindestens eines IGBT aufweisen und zu jedem Leistungsschalter ein mit einer Diode versehener Freilaufzweig parallel geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Körperdioden ( $K_{1x}$ ) der MOSFETs ( $M_{1x}$ ) in dem Freilaufzweig befinden und eine Ansteuerung für die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) vorgesehen ist, welche den/die IGBT ( $I_{1x}$ ) und MOSFET ( $M_{1x}$ ) eines Leistungsschalters (S1, S2, S3, S4, S5, S6) gleichzeitig einschaltet und den/die MOSFET ( $M_{1x}$ ) zeitverzögert zu dem/den IGBT ( $I_{1x}$ ) ausschaltet.

2. Wechselrichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß drei elektrische Halbbrücken (S1/S2, S3/S4, S5/S6) vorgesehen sind.

3. Wechselrichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) auf DCB-Substraten realisiert sind.

4. Verfahren zum Umrichten eines elektrischen Gleichstromsystems in ein Wechselstromsystem mittels eines Wechselrichters, der mindestens eine elektrische Halbbrücke aufweist, die zwei in Reihe geschaltete Leistungsschalter besitzt, wobei an deren elektrischer Verbindung eine Ausgangsspannung des Wechselrichters abgegriffen wird, wobei mindestens ein MOSFET, mindestens ein IGBT und ein Freilaufzweig parallel zueinander geschaltet werden, um einen der Leistungsschalter zu bilden, dadurch gekennzeichnet, daß die Körperdioden ( $K_{1x}$ ) der MOSFETs ( $M_{1x}$ ) in den Freilaufzweig geschaltet werden und die IGBT ( $I_{1x}$ ) und MOSFET ( $M_{1x}$ ) eines Leistungsschalters (S1, S2, S3, S4, S5, S6) gleichzeitig eingeschaltet und der/die MOSFET ( $M_{1x}$ ) eines Leistungsschalters (S1, S2, S3, S4, S5, S6) zeitverzögert zu dem/den IGBT ( $I_{1x}$ ) des Leistungsschalters (S1, S2, S3, S4, S5, S6) ausgeschaltet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei kleinen Strömen, insbesondere bei Strömen kleiner als 100 A, im wesentlichen die MOSFETs ( $M_{1x}$ ) und bei großen Strömen, insbesondere bei Strömen größer als 300 A, im wesentlichen die IGBTs ( $I_{1x}$ ) den Strom führen.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) mit einer Frequenz zwischen 5 und 20 kHz, bevorzugt zwischen 8 und 16 kHz, geschaltet werden.

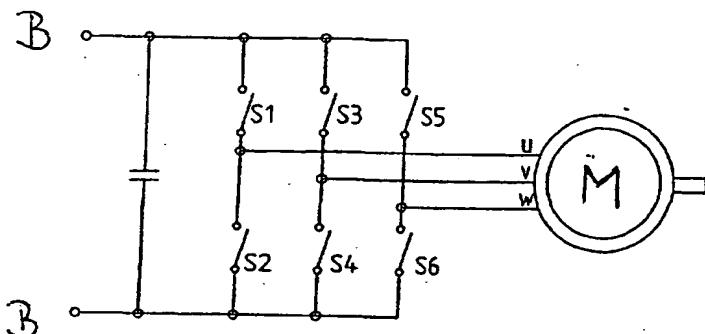
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) mit einer Spannung von weniger 150 V, bevorzugt weniger als 100 V, beaufschlagt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) einen Strom von mehr als 250 A, insbesondere mehr als 300 A, schalten.

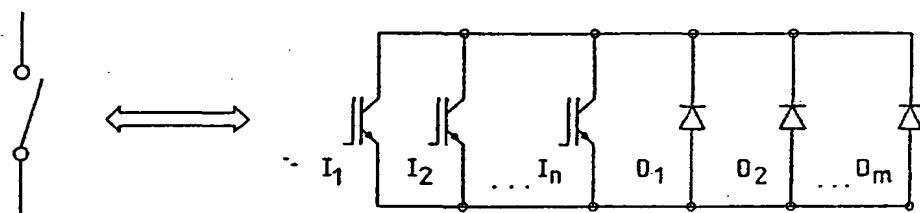
9. Batteriebetriebenes Flurförderzeug mit Drehstrommotor mit einem Wechselrichter nach einem der Ansprüche 1 bis 3.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

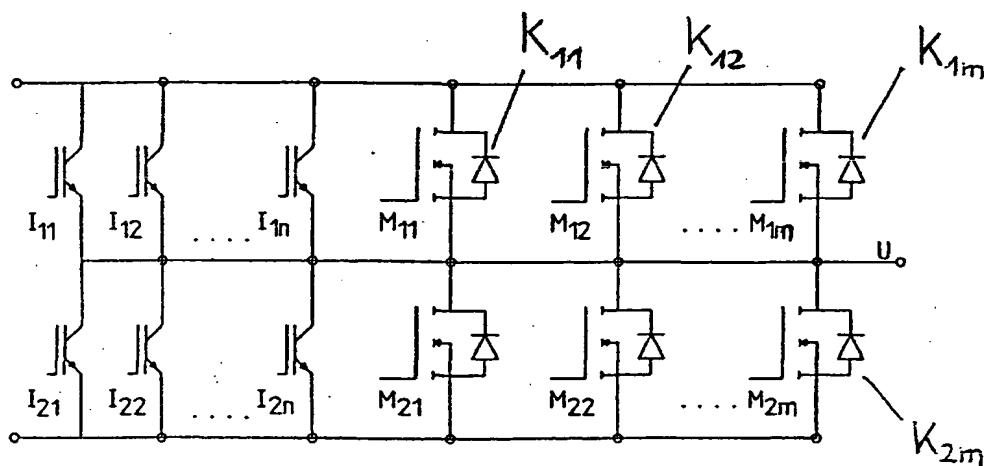
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

